

DISPOSITIF DE CONTROLE DE FOULEE**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5 La présente invention concerne un dispositif de contrôle (« monitoring ») de la foulée d'un marcheur ou d'un coureur.

Elle trouve des applications notamment dans le domaine du sport et dans le domaine médical.

10

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

On connaît déjà des dispositifs qui sont implantés dans les paires de chaussures et destinés à contrôler certains paramètres. Un dispositif de ce genre peut comprendre une masse magnétique, placée dans l'une des chaussures, et un moyen de mesure placé dans l'autre chaussure.

On se reportera en particulier aux documents suivants :

20 [1] DE 29701308 A

[2] CA 1193436 A.

Le document [1] décrit un dispositif électronique de mesure du mouvement d'un pied dans une chaussure, par exemple au moyen de transducteurs à effet Hall et d'aimants fixés à la semelle de cette chaussure.

25 Le document [2] décrit un dispositif destiné à avertir un enfant lorsqu'il se trompe de pied en mettant ses chaussures, à l'aide d'un aimant placé

dans l'une des chaussures et de moyens électriques et magnétiques placés dans l'autre chaussure.

Remarquons que ces documents ne divulguent pas l'utilisation d'un accéléromètre ou d'un
5 magnétomètre.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de résoudre le problème de l'obtention d'informations sur
10 la foulée d'un marcheur ou d'un coureur.

Elle vise à mesurer des paramètres caractéristiques de la foulée et éventuellement d'autres paramètres qui sont complémentaires des précédents (notamment les mouvements du pied), à l'aide
15 de moyens appropriés, contenus dans les chaussures de la personne dont on contrôle la foulée.

L'invention propose d'utiliser au moins un magnétomètre pour faire des mesures de champ magnétique et au moins un accéléromètre pour faire des mesures
20 d'accélération au cours du déplacement du dispositif afin de calculer la position dans l'espace de ce dispositif.

De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif de contrôle de foulée, ce
25 dispositif comprenant une paire de chaussures comportant des première et deuxième chaussures, la première chaussure comprenant au moins une masse magnétique, la deuxième chaussure comprenant au moins des moyens de mesure, pour effectuer au moins une
30 mesure physique, et des moyens électroniques de traitement de cette mesure physique, ce dispositif

étant caractérisé en ce que les moyens de mesure comprennent au moins un accéléromètre et au moins un magnétomètre qui sont aptes à fournir des signaux dont le traitement permet de déterminer des paramètres de la foulée.

Notons que l'insertion des composants du dispositif dans la paire de chaussures permet de ne pas gêner la personne qui porte ces chaussures et conduit à un dispositif discret.

Selon un mode de réalisation préféré du dispositif objet de l'invention, chacune des première et deuxième chaussures comprend au moins une masse magnétique, des moyens de mesure, pour effectuer au moins une mesure physique, et des moyens électroniques de traitement de cette mesure physique, les moyens de mesure comprenant au moins un accéléromètre et au moins un magnétomètre qui sont aptes à fournir des signaux dont le traitement permet de déterminer des paramètres de la foulée.

De préférence, la masse magnétique comprend au moins un aimant permanent.

Les moyens de mesure peuvent comprendre une pluralité d'accéléromètres.

De même, les moyens de mesure peuvent comprendre une pluralité de magnétomètres.

De préférence, les moyens électroniques de traitement sont munis de moyens de transmission d'un signal fourni par ces moyens électroniques de traitement.

Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, ce dispositif comprend

en outre des moyens portables prévus pour recevoir le signal transmis par les moyens de transmission et afficher des données représentatives de ce signal.

De préférence, ces moyens portables
5 comprennent :

- des moyens de réception de données,
- des moyens électroniques de traitement de ces données, ces moyens électroniques de traitement de données étant munis d'une mémoire,
- 10 - des moyens d'introduction de commande, et
- des moyens d'affichage.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la mémoire contient :

- une séquence de calibration du signal
15 transmis par les moyens de transmission, en fonction de la longueur de la foulée et de paramètres intrinsèques des chaussures,
- un algorithme d'estimation de la longueur de la foulée,
- 20 - un algorithme de calibrage du signal transmis par les moyens de transmission, en fonction de paramètres fournis par un utilisateur, et
- un algorithme d'estimation de la vitesse de la foulée.

De préférence, la séquence de calibration est prévue pour déterminer, d'une part, une loi mathématique de calibration au moyen d'une régression polynomiale et, d'autre part, une correspondance directe entre le signal mesuré et la longueur de la
25 foulée, pour des chaussures et un individu donnés.
30

De préférence, l'algorithme d'estimation de la longueur de la foulée utilise la mesure de la variation du champ magnétique résultant du mouvement de la masse magnétique.

5

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'une partie d'un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, qui est contenue dans l'une des chaussures d'une paire de chaussures,

- la figure 2 est une vue schématique d'une autre partie de ce dispositif, qui est contenue dans l'autre chaussure de la paire,

- la figure 3 est une vue schématique de moyens de contrôle et de commande que comporte ce dispositif,

- la figure 4 est un diagramme de signaux qui sont reçus par des composants de ce dispositif, et

- la figure 5 illustre schématiquement un dispositif de capture de mouvements.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On décrit dans ce qui suit des exemples du dispositif objet de l'invention, dans lesquels on utilise le fait que, dans une foulée, à tout instant

l'un des pieds possède un point d'appui fixe par rapport au sol tandis que l'autre pied est mobile, à une distance variable du pied possédant le point d'appui fixe par rapport au sol, et l'on mesure cette
5 distance pour calculer, par sommation, la distance parcourue.

Ces exemples mettent en oeuvre l'association conjuguée et le traitement des signaux d'un ou de plusieurs magnétomètres (de préférence un ou
10 plusieurs micro-magnétomètres) et d'un ou de plusieurs accéléromètres, qui sont contenus dans l'une des chaussures d'une paire de chaussures, et une masse magnétique, qui est contenue dans l'autre chaussure de la paire, pour mesurer principalement des distances et
15 des vitesses.

On utilise ainsi au moins un magnétomètre, de préférence au moins un micro-magnétomètre, qui mesure le champ magnétique produit par une masse magnétique mobile, pour faire une mesure dynamique de
20 la distance entre les chaussures grâce à la mesure de la réponse du signal du magnétomètre. Cette mesure utilise la forme du signal et l'amplitude du champ magnétique qui est alternatif et que l'on mesure au rythme de la foulée.

25 La calibration temporelle de cette mesure dynamique se fait grâce au signal qui est fourni par l'accéléromètre, en particulier au moment du choc du pied sur le sol et permet de déterminer les instants où le signal du micro-magnétomètre doit être traité.

30 Cette mesure peut être corrigée ou affinée par l'intégration conjointe de l'accélération mesurée

par l'accéléromètre, de la mesure de la vitesse de la masse magnétique mobile puis de la mesure de la distance entre les chaussures.

5 Cette mesure sera calibrée par une phase d'étalonnage pour établir la loi donnant la longueur de la foulée en fonction de l'amplitude du signal et en fonction du marcheur ou du coureur et des caractéristiques magnétiques de la chaussure contenant la masse magnétique.

10 Dans une variante du dispositif, on peut faire une mesure différentielle entre le micro-magnétomètre implanté dans la chaussure et un autre micro-magnétomètre, qui est distant de cette chaussure et qui est par exemple dans un bracelet, pour
15 soustraire le champ magnétique terrestre (mesuré par cet autre micro-magnétomètre) du champ magnétique mesuré par le micro-magnétomètre qui est implanté dans la chaussure, afin d'améliorer le rapport signal/bruit et donc la précision de la mesure.

20 Dans les exemples donnés, les chaussures sont pourvues de moyens complètement autonomes et portables.

Les paramètres mesurés sont de préférence transmis par radio à des moyens personnels de
25 visualisation et de contrôle qui peuvent être installés sur un bracelet ou sur tout autre élément portable.

On peut réaliser un dispositif conforme à l'invention permettant de mesurer divers paramètres, en particulier le nombre de pas, la longueur de chaque
30 pas, la distance parcourue, le temps de marche ou de

course, la vitesse moyenne du marcheur ou du coureur, sa vitesse maximale et son temps de repos.

Ce dispositif peut être programmé pour définir une randonnée-type, notamment par la durée, la
5 vitesse, le rythme, le temps de repos, et mesurer les écarts entre les valeurs effectives et les valeurs prévues pour que l'utilisateur réalise un programme défini.

Ce dispositif peut comporter deux micro-
10 magnétomètres supplémentaires en vue d'enregistrer les directions et/ou la route et/ou le cap, qui sont suivis par l'utilisateur du dispositif.

Tous les paramètres sont transmis aux moyens portables de visualisation (qui peuvent être
15 fixés à une ceinture ou à un bracelet).

En outre, à un dispositif conforme à l'invention on peut adjoindre une montre et/ou un altimètre et/ou un moyen de mesure de température et/ou un micro-magnétomètre (pour mesurer le champ magnétique
20 terrestre, comme on l'a déjà vu plus haut) et/ou un moyen de mesure du rythme cardiaque au niveau du poignet.

Un indice énergétique du porteur du dispositif peut être également calculé :

25
$$IE(t) = K \cdot (a \cdot D_m + b \cdot D_d + c \cdot D_h)(t), \text{ avec :}$$

$IE(t)$: indice énergétique sur une durée t ,

a, b, c : coefficients de pondération, tenant compte, en particulier, du poids de la personne qui porte le dispositif,

Dm : valeur calculée en fonction de la distance parcourue en montant, avec corrélation des informations fournies par l'altimètre,

5 Dd : valeur calculée en fonction de la distance parcourue en descendant, avec corrélation des informations fournies par l'altimètre,

Dh : valeur calculée en fonction de la distance parcourue en phase horizontale, avec corrélation des informations fournies par l'altimètre,

10 K : coefficient global, tenant compte des unités, de la nature et de la difficulté du terrain.

On peut définir un indice de la puissance fournie pendant le temps t par la formule suivante :

$$IP(t) = IE(t) / t.$$

15 Pour des applications sportives de haut niveau ou des applications médicales, on peut réaliser un dispositif conforme à l'invention, ayant une grande sensibilité et utilisant, pour ce faire, plusieurs accéléromètres, plusieurs micromagnétomètres et des
20 algorithmes de traitement qui sont élaborés pour calculer, avec une grande précision, les mouvements du pied dans l'espace et ses différentes orientations, dans une phase de temps déterminée.

Un dispositif conforme à l'invention est
25 installé dans une paire de chaussures. L'une des chaussures peut être simplement pourvue d'une masse magnétique constituée par un aimant, de préférence un aimant permanent.

L'autre chaussure peut simplement comporter
30 au moins un accéléromètre, au moins un magnétomètre, des moyens électroniques de traitement des signaux

fournis par ces derniers et une source d'énergie électrique pour alimenter l'accéléromètre, le magnétomètre et les moyens électroniques de traitement.

Le dispositif peut comporter en outre (mais
5 ce n'est pas indispensable) des moyens de visualisation, de contrôle et de commande (« control ») que l'on peut alors placer sur un bracelet ou une ceinture.

Cependant, pour des raisons de fabrication
10 industrielle, de quantités fabriquées, de symétrie et d'homogénéité, les deux chaussures reçoivent de préférence le même équipement.

Ceci est schématiquement illustré par l'exemple des figures 1 et 2 où un dispositif conforme
15 à l'invention est installé dans une paire de chaussures qui ont les références C1 et C2 sur les figures 1 et 2, la chaussure C1 correspondant par exemple au pied droit et la chaussure C2 au pied gauche. Remarquons que ces chaussures sont dans le champ magnétique terrestre Bt.

20 On peut par exemple installer les divers composants du dispositif dans les semelles des chaussures C1 et C2.

La chaussure C1 (respectivement C2) comprend :

- 25 - un accéléromètre ACC1 (respectivement ACC2) ou plusieurs accéléromètres si cela est nécessaire,
- un magnétomètre MAG1 (respectivement MAG2) ou plusieurs magnétomètres si cela est
30 nécessaire,

- un aimant permanent A1 (respectivement A2) qui produit un champ magnétique B1 (respectivement B2),

- des moyens électroniques de traitement
5 ET1 (respectivement ET2) pour traiter les signaux fournis par l'accéléromètre et le magnétomètre correspondants,

- un module de transmission MTR1
10 (respectivement MTR2) qui est muni d'une antenne (non représentée) et prévu pour transmettre les signaux ainsi traités, et

- un module d'alimentation en énergie électrique ME1 (respectivement ME2) qui est destiné à alimenter l'accéléromètre, le magnétomètre, les moyens
15 électroniques et le module de transmission correspondants et qui peut être une pile, un générateur électromécanique ou un accumulateur rechargeable par télé-alimentation.

Dans l'exemple considéré, le porteur des
20 chaussures ainsi équipées, possède également, comme on le voit sur la figure 3, un bracelet (ou une ceinture) de contrôle et de commande BCC qui comprend :

- un module MTR de transmission/réception numérique de données, ce module MTR étant muni d'une
25 antenne (non représentée) et permettant la réception des données transmises par les modules MTR1 et MTR2,

- une unité de traitement des données UTD, qui est munie d'une mémoire MEM, d'un clavier de commande COM et de moyens AFF d'affichage des données
30 qui sont reçues par l'intermédiaire du module MTR, ces

données étant affichées après avoir été traitées dans l'unité de traitement UTD, et

- une source d'énergie électrique SE, par exemple une pile, pour alimenter en énergie le module MTR, l'unité UTD, la mémoire MEM, les moyens d'affichage AFF (et d'autres organes RC, ALT et H que le bracelet peut éventuellement comporter et dont il sera question par la suite).

Dans la mémoire MEM sont enregistrés par exemple des programmes appelés SEQCAL, FOULEE, NORPARAM et ESTIVITS.

SEQCAL est une séquence de calibration du signal fourni par les accéléromètres et magnétomètres, en fonction de la longueur de la foulée et des paramètres intrinsèques de la chaussure.

SEQCAL calcule la loi mathématique de calibration, à l'aide d'une régression polynomiale ou de tout autre algorithme approprié, et établit une correspondance directe entre le signal de mesure et la longueur de la foulée pour une chaussure et un individu donnés.

Cette correspondance dépend de la masse magnétique propre, de sa répartition dans la chaussure (dans l'exemple considéré, il n'y a qu'un aimant par chaussure mais dans un autre exemple il pourrait y en avoir plusieurs), et de l'orientation du ou des dipôles magnétiques de la masse magnétique.

FOULEE est un algorithme d'estimation de la longueur de la foulée. Cet algorithme est fondé sur le traitement du signal qui est engendré par la variation du champ magnétique que crée la chaussure

« magnétique » (elle est appelée ainsi car elle contient un aimant) lorsque cette chaussure est en mouvement.

Le signal varie selon la distance
5 instantanée entre le micro-magnétomètre et la chaussure, la direction de l'aimantation et la répartition de la masse magnétique dans la chaussure.

En fonction de la forme du signal, de son amplitude, de l'instant donné par le ou les
10 accéléromètres pour la prise en compte du signal magnétique de la foulée, et des paramètres de la loi, qui sont déterminés par la phase de calibration, l'unité UTD calcule la longueur de la foulée .

On utilise alors les relations et
15 l'algorithme qui suivent.

Le signal magnétique $B(t)$ mesuré à l'instant t dépend d'un modèle qui est fonction (en première approximation) de la distance instantanée (distance à l'instant t) entre la masse magnétique
20 (aimant) de la chaussure et le ou les magnétomètres de l'autre chaussure, selon la relation:

$$B(t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r})\mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{M}}{r^3} \right)$$

Dans cette formule, les vecteurs sont
25 indiqués par des caractères gras, μ_0 est la perméabilité du vide ($4\pi \times 10^{-7} \text{m.kg.C}^{-2}$), \mathbf{M} est le moment magnétique de l'aimant et \mathbf{r} est égal à \mathbf{OP} où O est le milieu de l'aimant et P le point de mesure.

La signature magnétique complète du passage
30 d'un pied devant l'autre dépend, quant à elle, de la

distance minimale entre les deux pieds et de la vitesse V du pied dans la foulée.

La distance minimale entre les deux pieds est déterminée dans l'algorithme précédent (SEQCAL).

5 Donc, par un procédé connu de minimisation des écarts quadratiques et par un filtrage adapté, on peut avoir une estimation correcte de la vitesse V .

La prise en compte des instants d'impact de la chaussure est réalisée par seuillage du ou des accéléromètres, lors du traitement du signal, et permet
10 de déterminer les instants d'impact t_1 et t_2 et de calculer l'écart δt entre ceux-ci. La longueur L de la foulée est alors facilement calculée : elle est égale au produit de la vitesse V (estimée) par δt .

15 Il est possible que le signal magnétique soit atténué en fin de foulée et donc que la mesure soit trop imprécise dans cette zone (qui représente quelques % de la course ou de la marche).

Dans ces conditions, avec l'estimation de
20 la vitesse faite lorsque le signal est de bonne qualité, on peut facilement calculer la distance parcourue dans cette zone en multipliant la vitesse estimée par le temps de parcours correspondant à cette zone dont la fin est déterminée par le déclenchement de
25 l'accéléromètre.

De plus, afin d'améliorer la qualité du signal de mesure qui est fourni par les micro-magnétomètres contenus dans les chaussures, cette mesure peut être corrigée en tenant compte de la valeur
30 du champ magnétique terrestre B_t . Pour ce faire, on soustrait de cette mesure la mesure de B_t , qui est

faite par le micromagnétomètre fixé au bracelet ou à la ceinture, ce dernier magnétomètre n'étant pas sensible aux aimants des chaussures.

NORPARAM est un algorithme de calibrage des signaux en fonction des paramètres introduits par l'utilisateur sur le clavier du bracelet (ou de la ceinture).

ESTIVITS est un algorithme d'estimation de la vitesse de la foulée. Cet algorithme prend en compte la dérivée du signal émis par le magnétomètre d'une chaussure à la suite de la variation du champ magnétique engendré par l'aimant de l'autre chaussure.

Le bracelet (ou la ceinture) peut être également pourvu :

- d'un capteur de rythme cardiaque RC, constitué par un capteur de pression pour mesure du pouls,
- d'un altimètre numérique ALT dont les données en fonction du temps sont enregistrées dans une mémoire qui est initialisée à chaque course (ou chaque marche) et
- d'une horloge H.

Dans l'unité UTD, on prévoit des algorithmes que l'on associe à ces composants RC, ALT et H et qui permettent de calculer des paramètres secondaires.

On prévoit en particulier un algorithme appelé INDICE pour calculer l'indice énergétique IE et l'indice de puissance IP qui ont été définis plus haut, en fonction des paramètres a, b, c, K.

D'autres algorithmes peuvent être également .

prévus pour calculer d'autres paramètres tels que la distance parcourue, la vitesse moyenne, la vitesse maximale instantanée, l'énergie totale dépensée par le coureur ou le marcheur, l'énergie instantanée intégrée
5 selon différentes phases, la puissance fournie, l'état des écarts de la course (ou de la marche) en fonction d'un programme préalablement défini.

En outre, un autre algorithme, appelé ORIENTATION, peut être prévu pour calculer, à partir
10 des signaux des accéléromètres et surtout des magnétomètres, qui doivent alors être bi-axes ou tri-axes, les positions exactes et les orientations du pied dans l'espace en cours de foulée.

On reviendra sur un tel traitement à la fin
15 de la présente description.

Si la masse magnétique qu'il est nécessaire de placer dans une chaussure est trop importante, on peut utiliser un électro-aimant à la place d'un aimant permanent pour produire le champ magnétique. De
20 préférence, cet électro-aimant est placé dans la semelle de la chaussure.

L'énergie de l'électro-aimant peut être produite par un générateur, à chaque foulée pendant la course ou la marche, soit lors de l'impact au sol, soit
25 lors du pliage de la semelle. La pile sert alors uniquement à l'alimentation du reste des moyens électroniques.

La figure 4 montre le diagramme de signaux sa_1 , sa_2 , sm_1 et sm_2 qui sont respectivement reçus par
30 les accéléromètres ACC1 et ACC2 et par les magnétomètres MAG1 et MAG2, en fonction du temps t .

Le paramètre x représente la distance parcourue.

A l'instant t_0 , la chaussure C2 (pied gauche) est à l'arrêt, et la chaussure C1 (pied droit) démarre son mouvement de foulée qui se termine à l'instant t_1 .

Dans ces conditions, en ce qui concerne les signaux reçus par C1:

ACC1 enregistre l'accélération puis la décélération de la foulée 1, et

MAG1 mesure un signal s_1 qui est la somme de:

.B1 qui est une constante au cours du temps ; elle est connue et peut être facilement soustraite ;

.mt(Bt) qui est une modulation de la mesure du champ magnétique terrestre au cours de la foulée, modulation due aux variations de l'angle que fait MAG1 avec le vecteur Bt ;

.ma(B2) qui est une modulation de l'amplitude du champ B2 durant la foulée, modulation due au passage de MAG1 près de l'aimant A2.

En ce qui concerne les signaux reçus par C2:

ACC2 ne mesure aucune accélération, C2 étant à l'arrêt, et la vitesse est nulle ;

MAG2 mesure un signal s_2 qui est la somme de:

.B2 qui est une constante au cours du temps ; elle est connue et peut être facilement soustraite ;

.Bt qui est constant sur toute cette foulée ;

ma(B1) qui est une modulation de l'amplitude du champ B1 durant la foulée.

5 A l'instant t1 la foulée 1 est terminée, C1 est à l'arrêt et C2 démarre pour s'arrêter à l'instant t2.

On a exactement le même fonctionnement, mais de façon symétrique: les signaux d'indice 1 sont
10 remplacés par les signaux d'indice 2 (et réciproquement). On se reportera à la figure 4.

Considérons maintenant le fonctionnement du dispositif.

Les signaux de MAG1, ACC1, MAG2 et ACC2
15 sont mesurés sous forme analogique puis convertis sous forme numérique par un convertisseur adapté.

Ces mesures entrent dans le module ET1 (respectivement ET2) de la chaussure C1 (respectivement C2) grâce à une interface (non représentée) et sont,
20 d'une part, stockées dans une mémoire dont la gestion est de type FIFO (premier entré premier sorti) et, d'autre part, transmises directement à l'interface MTR1 (respectivement MTR2) qui se charge de les transmettre sous forme codée, par un procédé de radio-transmission
25 numérique multi-canal.

Les données de la chaussure 1 seront transmises par exemple sur le canal 1 de MTR1, et les données de la chaussure 2 sur le canal 2 de MTR2.

Les capteurs sont échantillonnés selon une
30 fréquence-type de 100 Hz, qui est adaptable.

En réception, le module MTR de l'unité UTD

des moyens portables de contrôle-commande reçoit les flots de données et, selon le canal de réception, classe ces données en mode liste dans sa mémoire, selon quatre listes différentes pour MAG1, ACC1, MAG2 et
5 ACC2.

En tête de chaque liste, un indicateur de temps est inséré afin de pouvoir faire le repérage temporel de chacune des valeurs des codeurs correspondants. Le nombre des valeurs numériques des
10 capteurs, entre deux indicateurs temporels des listes enregistrées dans la mémoire, dépend de la fréquence d'échantillonnage retenue. Ce nombre vaut par exemple 100 si cette fréquence vaut 100Hz.

La capacité de mémoire de l'unité UTD est
15 telle qu'elle peut au moins stocker l'ensemble des valeurs des capteurs, multiplié par la fréquence d'échantillonnage, multiplié par le temps maximum de marche (ou de course) à enregistrer (par exemple 24 heures).

20 L'unité UTD calcule en permanence les paramètres de la marche ou de la course et déclenche pour ce faire les différents algorithmes de calcul enregistrés dans sa mémoire de programmes.

Les données qui en résultent sont affichées
25 de manière cyclique sur les moyens d'affichage AFF, par exemple toutes les 10 secondes, ou sur demande explicite du marcheur ou du coureur.

Les signaux sont enregistrés de manière continue au cours du temps et sont stockés dans la
30 mémoire.

Les algorithmes « FOULEE » et « ESTIVITS »

sont exécutés cycliquement afin de calculer :

- la vitesse puis la longueur de la foulée, par l'intégration des signaux des accéléromètres, et

- les valeurs de la vitesse et de la longueur de la foulée par un traitement du signal après soustraction des mesures constantes de Bt, et des bruits de la modulation de la foulée.

Les prises en compte des signaux de MAG1 et MAG2 sont synchronisées avec les déclenchements de détection de début d'accélération de ACC1 et ACC2, afin de ne prendre en compte que des signaux « propres », c'est-à-dire sans perturbation.

L'homme du métier pourrait adapter les exemples qui précèdent au cas où la chaussure C1 est simplement pourvue de l'aimant A1 et la chaussure C2 est simplement pourvue des composants ACC2, MAG2, ET2, MTR2 et ME2.

La présente invention permet à un utilisateur de connaître les paramètres principaux de sa course ou de sa marche. De plus, le dispositif de l'invention peut s'insérer facilement dans des chaussures standard de randonnée ou de jogging, du fait de sa légèreté qui résulte de l'utilisation de technologies intégrées, permettant une réduction de poids et de volume.

On donne ci-après, en faisant référence à la figure 5, un exemple de technique permettant d'élaborer un algorithme de détermination des orientations du pied dans l'espace.

Les références 10a et 10b indiquent respectivement un accéléromètre et un magnétomètre. Il

s'agit de capteurs à trois axes de sensibilité, de type connu, susceptibles de délivrer des données de mesure représentatives de l'orientation, c'est-à-dire d'une position angulaire d'un solide S1. Le solide S1 est
5 indiqué sommairement en trait discontinu. Il s'agit par exemple d'une partie du corps humain dont on veut apprécier les mouvements, une souris informatique, un outil chirurgical, ...

Les mesures des capteurs, notées Θ_m , sont
10 des grandeurs scalaires ou vectorielles. Elles sont représentatives, par exemple, d'angles de lacet, de roulis et de tangage (ϕ, ψ, θ) .

Ces mesures sont dirigées vers un comparateur 12. Il s'agit, dans l'exemple illustré,
15 d'un différenciateur. Le comparateur 12 reçoit aussi une ou plusieurs données de test Θ_t délivrées par un calculateur 14. La donnée de test peut être de type vectoriel et exprimer des angles selon plusieurs axes. ...
Le calculateur 14 est utilisé comme moyen générateur de
20 données de test. Les données de test sont représentatives d'une orientation estimée du solide qui peut être aléatoire ou non. Il s'agit, par exemple, de triplets d'angles de lacet, de roulis et de tangage (ϕ, ψ, θ) . Le calculateur peut être localisé sur le
25 solide S1.

Le comparateur délivre une différence $\Delta\Theta$, qui, selon un ou plusieurs axes, représente un écart entre l'orientation réelle, correspondant à la donnée de mesure, et l'orientation estimée correspondant à la
30 donnée de test. Cet écart est utilisable pour affiner

l'orientation estimée du capteur, et donc du solide auquel il est fixé.

Toutefois, il est possible de fixer un seuil θ_h en deçà duquel on considère que l'orientation estimée est suffisamment proche de l'orientation mesurée pour être validée. Ceci peut avoir lieu au moyen d'un deuxième comparateur 16 prévu pour comparer la différence $\Delta\theta$ avec la valeur de seuil θ_h .

Lorsque la différence est inférieure au seuil en valeur absolue la donnée de test θ_t , c'est-à-dire l'estimation de la position angulaire est dirigée vers une sortie O1.

En revanche, lorsque la différence est supérieure au seuil, elle est dirigée vers le calculateur 14 pour effectuer une nouvelle estimation de la position. Les comparateurs 12 et 16 constituent ainsi avec le calculateur 14 des moyens 18 de modification de l'orientation estimée du solide $S1$.

La nouvelle estimation peut être aléatoire. Elle peut aussi être affinée selon un calcul de correction par la méthode de descente de gradient d'erreur.

Le deuxième comparateur peut éventuellement être éliminé. Dans ce cas, la valeur estimée est continuellement affinée jusqu'à la saisie d'une nouvelle valeur de mesure.

Le dispositif de la figure 5 comprend des moyens, par exemple une mémoire, pour enregistrer les valeurs estimées successives, validées, en fonction de mesures successives de la position angulaire du solide. La mémoire M1 peut faire partie du calculateur et peut

être localisée sur le solide S1. Les valeurs successives permettent de calculer le mouvement de rotation du solide de même que ses vitesses et accélérations angulaires. Pour démarrer la mesure d'une
5 nouvelle orientation du solide, la première donnée de test générée est avantageusement la valeur estimée validée de la position précédente.

La saisie de valeurs de mesure par les capteurs, et l'enregistrement des valeurs estimées dans
10 la mémoire M1 peuvent être cadencés par une horloge H1.

On peut utiliser un nombre quelconque de capteurs, sous réserve que ce nombre soit supérieur au nombre de variables d'angle I à estimer (le nombre de variables d'angle I à estimer est compris entre 1 et
15 3). Selon la qualité souhaitée de l'estimation, on peut alors utiliser le nombre minimal de capteurs nécessaire ou un nombre de capteurs supérieur au nombre minimal (redondance).

La contribution de chaque capteur peut être pondérée. Il est alors établi un critère de confiance ou poids Cm qui est associé à chaque composante de la mesure Θ_m afin de prendre cette dernière plus ou moins en compte dans l'algorithme de recherche des angles. Le calcul d'un poids Cm est établi selon les règles
25 suivantes :

- a) le poids Cm a une valeur égale à 1 par défaut,
- b) le poids Cm prend la valeur 0 dans le cas où la mesure délivrée est une valeur aberrante
30 (saturation, valeur traduisant un mauvais fonctionnement, etc.),

- c) le poids C_m a une valeur égale à 0 lorsque le niveau de bruit mesuré par le capteur dépasse un certain seuil, une valeur intermédiaire variant linéairement de 0 à 1 pouvant être appliquée
5 pour des valeurs de bruit variant de la valeur du seuil à une valeur de bruit considérée comme négligeable,

- d) la confiance est réduite sur les accéléromètres si l'accélération totale mesurée s'éloigne en norme de la valeur de la pesanteur,

10 - e) la confiance est réduite sur les magnétomètres si les magnétomètres enregistrent une variation trop importante de leur norme (on peut alors soupçonner la présence d'objet(s) ferromagnétique(s) à proximité du capteur).

15 En l'absence de pondération, pour une itération effectuée par le calculateur 14, la modification d'un angle de test I est liée à la grandeur S_I telle que :

20
$$S_I = \sum_{n=1}^N (\alpha_{In} \Delta\Theta_n), \text{ où}$$

n est l'indice d'un capteur,
 N est le nombre de capteurs,

α_{In} est un paramètre relatif au capteur
25 d'indice n , calculé de façon usuelle par la descente de gradient,

$\Delta\Theta_n$ est l'écart entre l'orientation réelle et l'orientation estimée du capteur d'indice n .

L'introduction d'un poids C_{m_n} relatif au
30 capteur d'indice n modifie alors l'expression de la grandeur S_I comme suit :

$$S_I = \sum_{n=1}^N C_{m_n} (\alpha_{In} \Delta \Theta_n)$$

De façon générale, les valeurs d'un poids
5 C_{m_n} peuvent évoluer continûment entre la valeur
1 (confiance totale sur la mesure effectuée par le
capteur d'indice n) et la valeur 0 (absence totale de
confiance sur la mesure effectuée par le capteur
d'indice n, la mesure effectuée par le capteur d'indice
10 n n'est pas prise en compte).

Ainsi, un procédé d'estimation de
l'orientation d'un solide peut comprendre les étapes
suivantes :

a) la saisie de données de mesure en
15 provenance d'au moins un capteur de position angulaire
et l'établissement d'une donnée de test représentative
d'une orientation estimée du solide,

b) la confrontation de la donnée de test et
la donnée mesurée,

20 c) l'établissement d'une nouvelle donnée de
test représentative d'une nouvelle orientation estimée
du solide, corrigée en fonction de la confrontation
précédente,

d) la répétition des étapes b) et c).

25 Les étapes b) et c) peuvent être répétées
jusqu'à ce que la confrontation révèle une différence
entre la donnée de test et la donnée de mesure
inférieure à un seuil déterminé.

Lors de l'étape c), on peut effectuer un
30 calcul de correction selon la méthode dite de descente
de gradient d'erreur.

La confrontation des données de test et de la donnée de mesure peut comprendre l'établissement de données de différence entre des données de test successives et la donnée de mesure.

- 5 On peut répéter les étapes a) à d) avec des données de mesure successives.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de contrôle de foulée, ce dispositif comprenant une paire de chaussures comportant des première et deuxième chaussures, la
5 première chaussure (C1) comprenant au moins une masse magnétique (A1), la deuxième chaussure (C2) comprenant au moins des moyens de mesure, pour effectuer au moins une mesure physique, et des moyens électroniques (ET2) de traitement de cette mesure physique, ce dispositif
10 étant caractérisé en ce que les moyens de mesure comprennent au moins un accéléromètre (ACC2) et au moins un magnétomètre (MAG2) qui sont aptes à fournir des signaux dont le traitement permet de déterminer des paramètres de la foulée.

15 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel chacune des première et deuxième chaussures (C1, C2) comprend au moins une masse magnétique (A1, A2), des moyens de mesure, pour effectuer au moins une mesure physique, et des moyens électroniques (ET1, ET2)
20 de traitement de cette mesure physique, les moyens de mesure comprenant au moins un accéléromètre (ACC1, ACC2) et au moins un magnétomètre (MAG1, MAG2) qui sont aptes à fournir des signaux dont le traitement permet de déterminer des paramètre de la foulée.

25 3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel la masse magnétique comprend au moins un aimant permanent (A1, A2).

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les moyens de mesure
30 comprennent une pluralité d'accéléromètres.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les moyens de mesure comprennent une pluralité de magnétomètres.

5 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les moyens électroniques de traitement (ET1, ET2) sont munis de moyens (MTR1, MTR2) de transmission d'un signal fourni par ces moyens électroniques de traitement.

7. Dispositif selon la revendication 6,
10 comprenant en outre des moyens portables (BCC) prévus pour recevoir le signal transmis par les moyens de transmission et afficher des données représentatives de ce signal.

8. Dispositif selon la revendication 7,
15 dans lequel les moyens portables comprennent :

- des moyens (MTR) de réception de données,
- des moyens électroniques (UTD) de traitement de ces données, ces moyens électroniques de traitement de données étant munis d'une mémoire (MEM),
- 20 - des moyens d'introduction de commande (COM), et
- des moyens d'affichage (AFF).

9. Dispositif selon la revendication 8,
dans lequel la mémoire (MEM) contient :

- 25 - une séquence de calibration du signal transmis par les moyens de transmission (MTR), en fonction de la longueur de la foulée et de paramètres intrinsèques des chaussures,
- un algorithme d'estimation de la longueur
- 30 de la foulée,

- un algorithme de calibrage du signal transmis par les moyens de transmission, en fonction de paramètres fournis par un utilisateur, et

- un algorithme d'estimation de la vitesse
5 de la foulée.

10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel la séquence de calibration est prévue pour déterminer, d'une part, une loi mathématique de calibration au moyen d'une régression polynomiale et,
10 d'autre part, une correspondance directe entre le signal mesuré et la longueur de la foulée, pour des chaussures et un individu donnés.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendication 9 et 10, dans lequel l'algorithme
15 d'estimation de la longueur de la foulée utilise la mesure de la variation du champ magnétique résultant du mouvement de la masse magnétique (A1, A2).

1 / 4

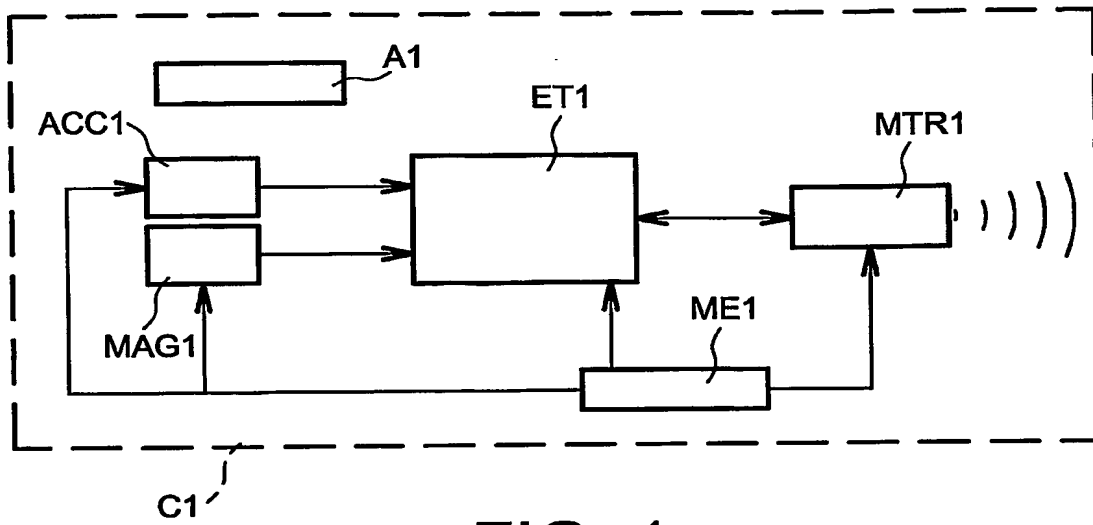


FIG. 1

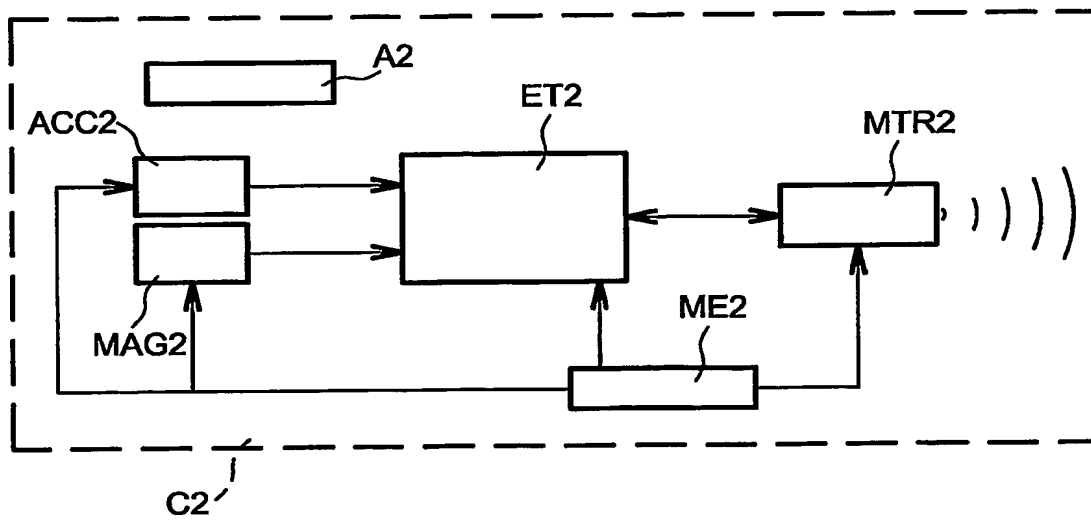
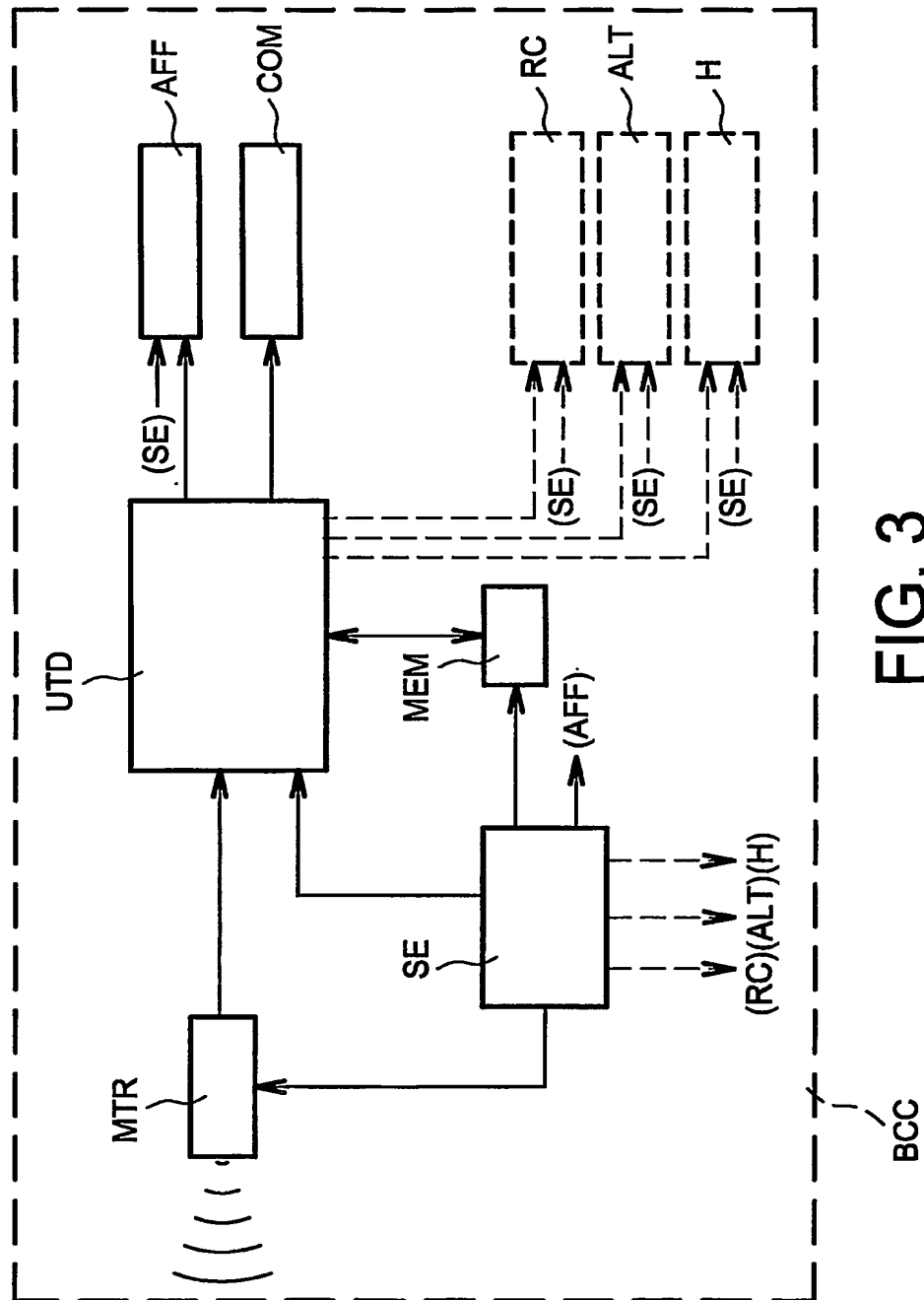


FIG. 2



3 / 4

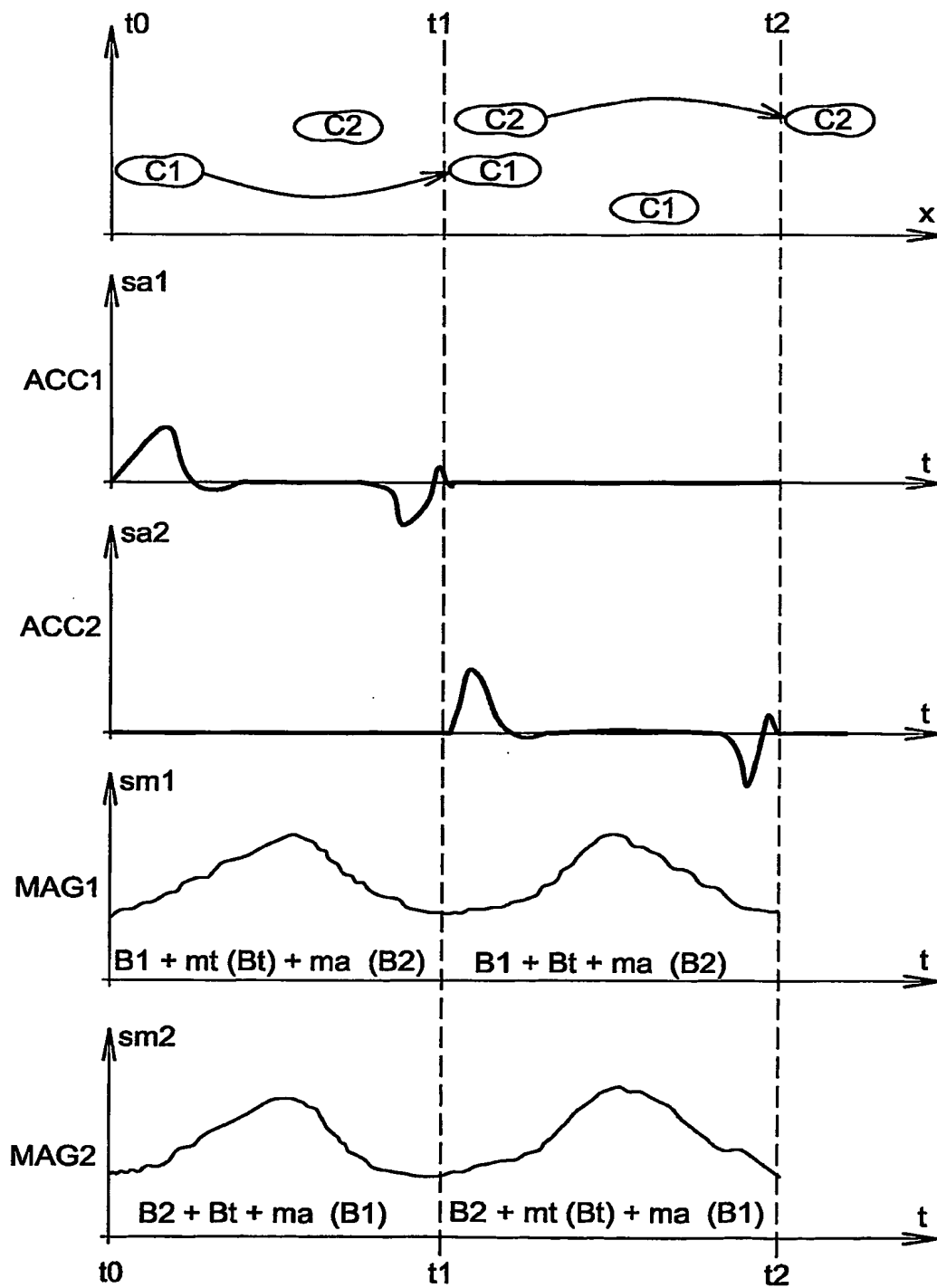


FIG. 4

4 / 4

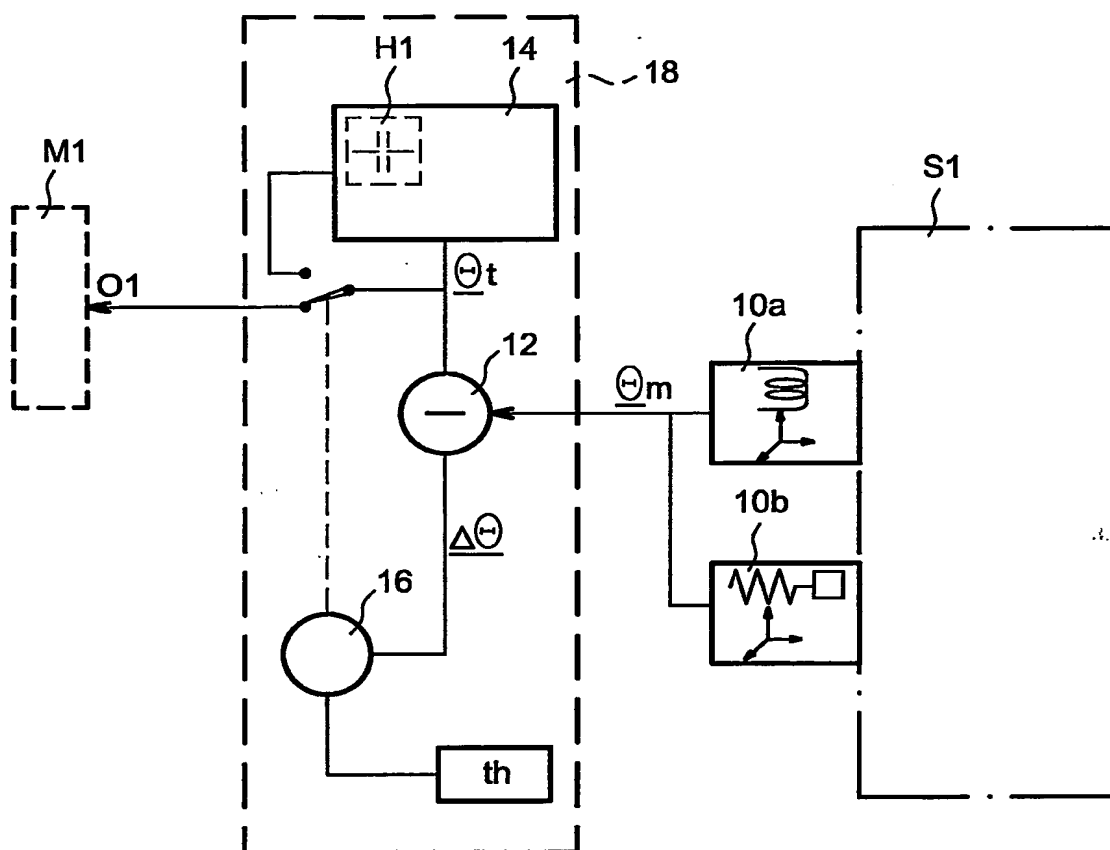


FIG. 5